

بررسی آبخستگی موضعی در اطراف پایه پل باله‌ای شکل با طوق

نسرین حسن پور^{1*}، علی حسین زاده دلیر² و هادی ارونتقی³

تاریخ دریافت: 91/05/01 تاریخ پذیرش: 91/10/06

¹ دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nasrin.hasanpour@yahoo.com

چکیده

روش‌های مهار و جلوگیری از آبخستگی بر روی مکانیزم آبخستگی پایه‌ریزی شده است. یکی از این روش‌ها بررسی شکل هندسی پایه‌های پل و نصب طوق در اطراف آن می‌باشد. در این تحقیق با بکارگیری 9 شکل هندسی مختلف از پایه‌های پل و نصب طوق در سطح بستر، سرعت آبخستگی و عمق حفره آبخستگی اطراف آنها با پایه استوانه‌ای شکل مقایسه شده است. همچنین اثر طول در روی پایه‌های باله‌ای شکل نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پایه باله‌ای شکل با طول نسبی 3/85 به علت کاهش قدرت گرداب‌های نعل اسبی و حذف گرداب برخاستگی بیشترین کاهش آبخستگی را از خود نشان داده و در مقایسه با شکل‌های مختلف پایه، در کاهش حداکثر عمق آبخستگی اثر بهتری داشته است و نسبت به پایه استوانه‌ای باعث کاهش حدوداً 22 درصدی حداکثر عمق آبخستگی شده است. همچنین استفاده از طوقی با قطر 2 برابر قطر پایه، در پایه باله‌ای شکل نسبت به پایه استوانه‌ای حدود 80 درصد حداکثر عمق آبخستگی را کاهش داده و زمان تعادل را نیز افزایش داد. همچنین پایه باله‌ای شکل که بصورت برعکس در جهت جریان قرار می‌گیرد موجب کاهش 60 درصدی، در حداکثر عمق آبخستگی در جلوی دماغه پایه نسبت به حالت اولیه آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبخستگی موضعی، پایه باله‌ای شکل، شکل هندسی پایه پل، طوق

Investigation of Local Scour around Airfoil Shaped Pier with Collar

N Hasanpour^{*1}, A Hosseinzadeh Dalir² and H Arvanaghi³

Received: 23 July 2011 Accepted: 26 December 2012

¹- Former M.Sc. Student, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

²- Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³- Assist. Prof, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

* Corresponding Author Email: nasrin.hasanpour@yahoo.com

Abstract

Methods to control and reduce local scour are based on the scour mechanism. One of these methods is the application of collar around piers and using different bridge piers geometries. In this study eight different shapes of bridge piers were used with collar around them and the obtained scour depths and rates were compared with those of circular pier. The effect of airfoil shaped piers length was also investigated. The results showed that the airfoil shaped pier with relative length of 3.85 was more effective than the other shapes of piers due to reduction of power of horseshoe and wake vortices and the maximum scour depth reduced 22% compared to the cylindrical pier. Furthermore, using a collar with a diameter two times greater than the pier diameter in the airfoil shaped piers decreased the maximum scour depth up to 80% in comparison with circular pier and the equilibrium time of scour also increased. Also, the airfoil shaped piers which were located in flow path in inverse direction, reduced the maximum scour depth in front of pier about 60%.

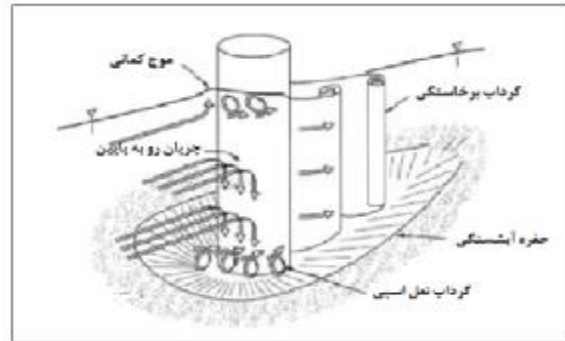
Keywords: Airfoil shaped pier, Bridge pier geometry, Collar, Local scour

مقدمه

مهمتر از همه بکار بردن تمهیدات لازم برای کنترل و کاهش آبشستگی موضعی بسیار ضروری است (زراتی 1379). بررسی‌ها نشان می‌دهد که گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نقش عمده‌ای در ایجاد حفره آبشستگی اطراف پایه پل دارند (بروزرز و رادکیوی 1991). حفره گودال آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند، در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد. شکل 1 گرداب‌های نعل اسبی، برخاستگی و موج کمافی را نشان می‌دهد.

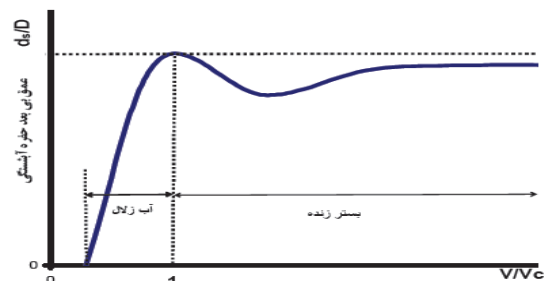
پل‌ها از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند که از دیرباز مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. تجربه طولانی مدت احداث پل بر روی رودخانه‌ها، مشخص نموده که در طراحی پل‌ها تنها در نظر داشتن مسائل سازه‌ای و فنی کافی نبوده بلکه طراحی هیدرولیکی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. با شناخت الگوی جریان در اطراف اشکال هندسی پایه‌ها می‌توان صدمات ناشی از تخریب پایه پل‌ها را به طرز چشمگیری کاهش داد. بنابراین شناخت این پدیده، پیش بینی میزان آن و لحاظ کردن آن در طراحی پل‌ها و

صورت توسعه شکاف به داخل بستر عمق آبخستگی کاهش بیشتری می‌یابد. در تحقیقی که زراتی و همکاران (2004)، برای آبخستگی در اطراف پایه مستطیلی با طوق انجام دادند به این نتیجه رسیدند که عملکرد طوق با افزایش ابعاد و کاهش ارتفاع نصب بیشتر می‌شود و همچنین کارایی طوق با افزایش زاویه پایه نسبت به جریان کمتر می‌گردد. سنوسی و حبیب (2008)، تأثیر دماغه شیب‌دار و گرد شده پایه پل را در آبخستگی موضعی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند، هنگامی که دماغه شیب‌دار می‌شود عمق آبخستگی کاهش می‌یابد. مونکادا و همکاران (2009)، به بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبخستگی پرداختند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که استفاده از طوق با عرض دو برابر قطر پایه می‌تواند آبخستگی را 55 تا 96 درصد کاهش دهد. کریمایی و زراتی (2011)، توسعه زمانی و گستردگی حفره آبخستگی را در پایه استوانه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. آنها برای این منظور از آرایش مختلف طوق‌ها استفاده کردند و بهترین نتیجه برای شرایطی حاصل شد که دو طوق، یکی در تراز بستر و دیگری در تراز ی به میزان قطر پایه در داخل بستر نصب می‌شوند که در این حالت عمق آبخستگی نهایی به میزان بیش از 50 درصد کاهش یافته و از طرفی گستردگی حفره در اطراف پایه به میزان 30 درصد افزایش یافت. ثانی‌خانی و همکاران (1387)، عملکرد طوق‌های مربعی شکل با ابعاد گوناگون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که حداقل عرض لازم برای طوق به منظور کاهش آبخستگی باید دو برابر قطر پایه باشد و طوق نصب شده در زیر و روی سطح بستر موثرتر از طوق‌های قرار گرفته در بالای بستر بودند. ارونقی و همکاران (1388)، تأثیر طول طوق مستطیلی در بالادست و پایین دست مدل پایه پل استوانه‌ای و همچنین عرض طوق را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که



شکل 1- انواع گرداب اطراف پایه پل (رادکیوی 1991).

با توجه به شکل 2 در صورتی که سرعت متوسط جریان (V) از سرعت بحرانی و یا به عبارت دیگر سرعت متوسط جریان در آستانه حرکت ذرات رسوبی (V_c) بیشتر باشد آبخستگی بستر زنده رخ می‌دهد و آبخستگی آب زلال موقعی ایجاد می‌گردد که $0/3 V_c < V < V_c$ در محدوده باشد (ملویل و چپو 1999).



شکل 2- طبقه بندی آبخستگی در شرایط آب زلال و بستر زنده بر اساس سرعت جریان و عمق حفره (ملویل و چپو 1999).

تلاش‌های زیادی در زمینه کاربرد روش‌های کاهش آبخستگی موضعی در پایه‌ها به وسیله محققین انجام یافته است. کومار و همکاران (1999)، آزمایش‌هایی را برای کاهش آبخستگی موضعی در اطراف پایه پل استوانه‌ای با استفاده از ایجاد شکاف انجام دادند، نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش طول شکاف عمق آبخستگی کاهش می‌یابد و در

پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است تا میزان عملکرد پایه‌های باله‌ای شکل در مقایسه با اشکال هندسی دیگر پایه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

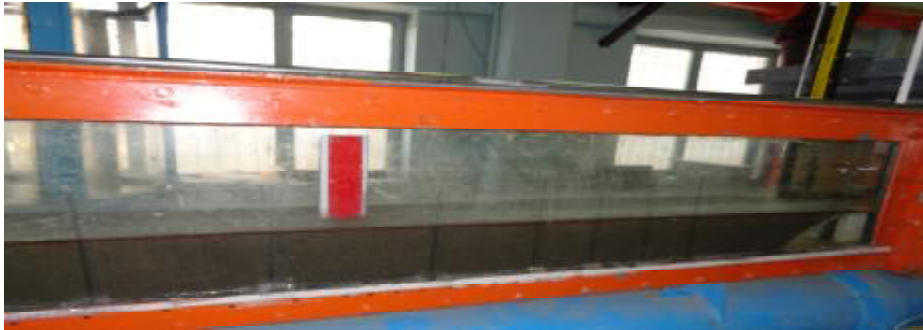
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

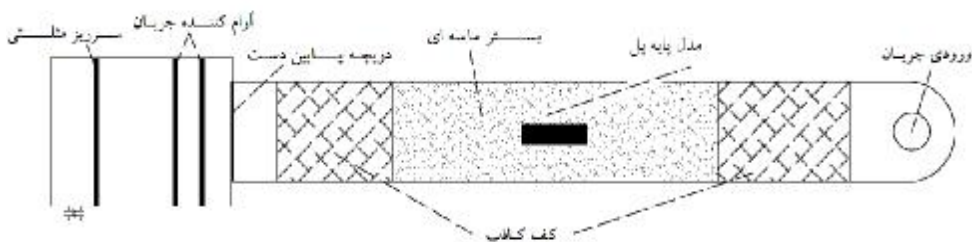
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز و در فلوم مستطیلی فلزی- شیشه‌ای بطول 9 متر، عرض 25 سانتی‌متر، ارتفاع 50 سانتی‌متر و شیب کف فلوم 0/0022 انجام گرفت. فلوم در قسمت ابتدایی دارای مخزن است. در مخزن انتهایی بعد از خروج آب از فلوم یک سرریز مثلثی برای اندازه‌گیری دبی جریان تعبیه شده است. آب مورد نیاز فلوم توسط یک پمپ با حداکثر دبی 100 لیتر بر ثانیه در یک مدار بسته تأمین می‌شود. برای تنظیم دبی ورودی به فلوم، شیر پروانه‌ای و برای تنظیم عمق جریان در فلوم دریچه کشویی در انتهای فلوم، نصب شده است. فلوم آزمایشگاهی به دو قسمت بستر متحرک و کف کاذب تقسیم گردید. بدین صورت که کف فلوم توسط سکوها فلزی به ارتفاع 14 سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض فلوم بالا آورده شد و منطقه‌ای بین سکوها به طول 2/5 متر که ابتدای آن در فاصله 3/5 متری از ابتدای فلوم قرار داشت به عنوان منطقه مورد آزمایش منظور شد. این منطقه به وسیله مصالح غیر چسبنده ماسه‌ای با d_{50} برابر با 0/56 میلی‌متر و انحراف معیار هندسی برابر با 1/283 و چگالی نسبی برابر با 2/64 پر شد. به منظور هماهنگ کردن ضریب زبری در محدوده آزمایش، در بالادست و پایین‌دست آن، سطح سکوها فلزی با مصالح استفاده شده در منطقه انجام آزمایش پوشانده شد. شکل 3 تصویر و شکل 4 پلان فلوم آزمایشگاهی را بعد از جای گذاری پایه نشان می‌دهد.

طول مناسب طوق در بالادست و پایین‌دست که نسبت به بدنه مدل پایه پل اندازه‌گیری شد به ترتیب 0/92 و 1/42 برابر قطر پایه می‌باشد و عرض مناسب برای طوق نیز 3 برابر قطر پایه پل برآورد گردید. شریعتی و همکاران (1388)، در بررسی عملکرد طوق دایره‌ای و مربعی در کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای نشان دادند که طوق مربعی بدلیل داشتن لبه‌های تیز نسبت به طوق دایره‌ای در کنترل و کم کردن قدرت گرداب‌های نعل اسبی و بر خاستگی عملکرد بهتری داشته و در کاهش عمق آبشستگی موثرتر بوده است. پور احمدی و حکیم‌زاده (1390)، با جایگزینی پایه‌های مخروطی شکل با پایه استوانه‌ای و پایه‌های هرمی در مقایسه به پایه مکعبی و انجام آزمایش با شدت جریان‌های مختلف کاهش محسوس در حداکثر عمق آبشستگی مشاهده کردند. آنها دلیل افزایش روند کاهشی اولیه را افزایش قطر پایه در مجاورت بستر و در نتیجه تأثیر دیواره‌ها بر میزان آبشستگی بیان کردند. حسینی و همکاران (1390)، به بررسی صفحات مستغرق در کنترل آبشستگی اطراف پایه‌های پل مستطیلی با دماغه گرد پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که تکنیک استفاده از صفحات مستغرق یک روش مناسب برای کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌ها می‌باشد و همچنین با افزایش زاویه پایه پل نسبت به جهت جریان بر میزان آبشستگی در اطراف پایه افزوده می‌شود و از تأثیر صفحات مستغرق در این حالت کاسته می‌شود. این تحقیقات نشان می‌دهند بررسی شکل هندسی پایه پل برای کنترل آبشستگی علی‌رغم تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته پژوهش‌های بیشتر و گسترده‌تری را نیاز دارد. هر چند پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر شکل و طول پایه‌ها صورت گرفته است ولی مطالعه جامعی روی پایه‌های باله‌ای شکل و تأثیر طول آنها در کاهش آبشستگی انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر تأثیر طول پایه باله‌ای شکل و همچنین مقایسه پایه باله‌ای با اشکال هندسی متفاوت

جهت جریان
←



شکل 3 - تصویر فلوم آزمایشگاهی در شرایط آزمایش.



شکل 4- پلان فلوم آزمایشگاهی.

تحلیل ابعادی

عوامل متعددی بر میزان آبستنگی در اطراف پایه‌های پل تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: سرعت جریان (V)، سرعت آستانه حرکت (V_c)، عمق جریان (Y)، عرض پایه (D)، طول پایه (L)، شتاب ثقل (g)، چگالی سیال (r_w)، لزوجت سینماتیکی (u)، چگالی ذرات رسوبی (r_s)، اندازه رسوبات (d_{50})، مدت زمان انجام آزمایشات (T).

در حالت کلی می‌توان نوشت:

$$f_1(d_s, y, D, l, V, g, r_w, r_s, u, d_{50}, V_c, T) = 0 \quad [1]$$

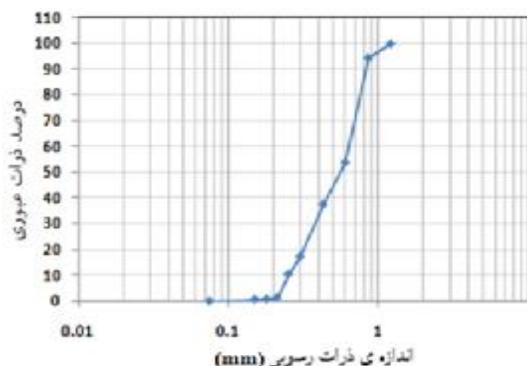
با بکارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه 1 را می‌توان بصورت تابع بدون بعد زیر نوشت:

$$f_2\left(\frac{y}{D}, \frac{l}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{gy}{V^2}, \frac{r_s}{r_w}, \frac{u}{VD}, \frac{d_s}{D}, \frac{VT}{D}, \frac{V}{V_c}\right) = 0 \quad [2]$$

با توجه به اینکه l, D, d_{50}, r_w, r_s و y در تمام آزمایش‌ها ثابت می‌باشند و همچنین پارامتر $\frac{u}{VD}$ بیانگر تأثیر نیروی لزوجت (عکس عدد رینولدز)، $\frac{gy}{V^2}$ بیانگر عکس مجذور عدد فرود و $\frac{V}{V_c}$ بیانگر شدت جریان می‌باشند که در این تحقیق مقادیر آنها ثابت و به ترتیب برابر با 70175، 0/179 و 0/9 می‌باشند. لذا از تأثیر نیروی لزوجت، عدد فرود و شدت جریان نیز می‌توان صرف نظر کرد و رابطه 2 را به شکل زیر خلاصه کرد:

$$f_3\left(\frac{d_s}{D}, \frac{VT}{D}\right) = 0 \quad [3]$$

در رابطه‌ی فوق $\frac{d_s}{D}$ عمق بدون بعد آبستنگی و $T^* = \frac{VT}{D}$ زمان بی‌بعد می‌باشند.



شکل 5- منحنی دانه بندی ذرات رسوبی.

ج- ضخامت مصالح بستر

ملویل و چیو (1999) حداکثر مقدار آبخستگی را برابر $2/4D$ بیان کرده‌اند که در این تحقیق این مقدار برابر $4/8$ سانتی‌متر می‌باشد که برای اطمینان بیشتر 14 سانتی‌متر انتخاب شد.

د- عمق و سرعت جریان

عمق جریان آب در کانال آزمایشگاهی یکی از کمیت‌هایی است که اگر به درستی انتخاب نشود حداکثر مقدار عمق آبخستگی، تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد. طبق مطالعات چیو (1995)، چنانچه $Y/D > 3$ باشد (Y عمق جریان و D قطر پایه) عمق جریان تأثیری بر روی عمق آبخستگی ندارد. در این پژوهش نیز Y/D برابر 8 در نظر گرفته شده است تا عمق آبخستگی تحت تأثیر عمق جریان قرار نگیرد. با توجه به اینکه آبخستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی می‌شود باید $V/V_c < 1$ باشد. در این تحقیق مدل برای حالت آبخستگی آب زلال طراحی شد. سرعت بحرانی جریان با برقراری دبی ثابت و کاهش تدریجی عمق جریان در چند مرحله و چندین تکرار محاسبه گردید و سپس درستی آن با روابط تجربی مقایسه شد. ملویل (1997) برای تعیین سرعت برشی بحرانی به ازای اندازه متوسط دانه‌های بستر از جنس کوارتز و دمای آب 20 درجه سلسیوس روابط زیر را ارائه نمود که تخمین خوبی برای منحنی شیلدز می‌باشد.

در آزمایش‌ها برای رسیدن به حداکثر مقدار آبخستگی موارد زیر به دقت رعایت می‌شد:

الف- قطر پایه (D)

در انتخاب قطر یا عرض مدل پایه‌های مورد استفاده باید اثر جانبی به وسیله دیواره‌های فلوم روی آبخستگی موضعی اطراف پایه در نظر گرفته شود. رادکیوی و اتما (1983) حداکثر نسبت عرض پایه به عرض فلوم را $0/16$ بیان کرده‌اند. در این پژوهش برای اطمینان بیشتر این نسبت $0/08$ در نظر گرفته شد. بنابراین قطر پایه در مدل‌ها 20 میلی‌متر انتخاب شد.

ب- اندازه و یکنواختی ذرات

قطر متوسط ذرات رسوبی باید به گونه‌ای باشد که حداکثر مقدار عمق آبخستگی ایجاد شود ملویل (1997) برای این موضوع شرط $D/d_{50} > 25$ (D قطر پایه و d_{50} اندازه متوسط ذرات رسوبی) را مطرح کرده است. رادکیوی و اتما (1983) نیز برای این موضوع شرط $D/d_{50} > 20-25$ را مطرح کرده‌اند. همچنین لی و استورم (2009) حداقل مقدار را برای D/d_{50} برابر با 25 بیان کردند. در این پژوهش نیز این نسبت با توجه به نمودار دانه بندی ذرات برابر است با:

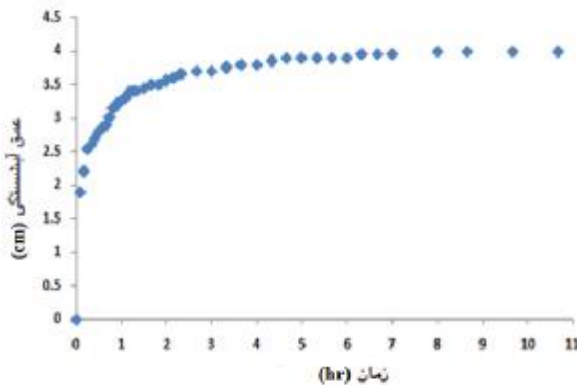
$$D = 20 \text{ mm}, d_{50} = 0.56 \text{ mm} \longrightarrow D/d_{50} = 35.7$$

همچنین برای حذف اثر غیریکنواختی ذرات بر آبخستگی موضعی لازم است که انحراف معیار هندسی ذرات کوچکتر از $1/5$ باشد. در این حالت مصالح بستر را می‌توان یکنواخت فرض نمود. (شفاعی بجزستان 1384). در این پژوهش از ماسه طبیعی رودخانه با دانه بندی یکنواخت و چگالی نسبی $G_s = 2.64$ و $d_{50} = 0.56$ mm و $S_g = 1.283$ استفاده شد که خصوصیات آن در معیارهای بیان شده صدق می‌کند. در شکل 5 منحنی دانه‌بندی مربوط به رسوبات استفاده شده در این تحقیق آورده شده است.

$$U_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \Rightarrow 0.1 \text{ mm} < d_{50} < 1 \text{ mm} \quad [4]$$

$$U_{*c} = 0.0305 d_{50}^{0.5} - 0.0065 d_{50}^{-1} \Rightarrow 1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm} \quad [5]$$

ثانیه، عدد رینولدز برابر با 70175 و عدد فرود برابر با 0/179 بدست آمدند.



شکل 6- نمودار توسعه زمانی آبشستگی برای پایه استوانه‌ای.

نحوه انجام آزمایشات

بعد از قرارگیری پایه‌های مورد آزمایش در مکان مورد نظر و اطمینان از صاف شدن یکنواخت بستر، جریان آب به آرامی از پایین دست در فلوم برقرار می‌شد تا آب به آرامی وارد فلوم شده و باعث به هم ریختن توپوگرافی بستر و آبشستگی اطراف پایه‌ها، قبل از شروع آزمایش نشود. زمانی که آب به آرامی تا ارتفاع مورد نظر بالا آمد از طریق یک شیر فلکه که در ابتدای فلوم قرار دارد دبی مورد نیاز تنظیم شد. بعد از اطمینان از ثابت ماندن دبی، سطح آب برای برقراری $V/V_c=0/9$ از طریق دریچه انتهایی تا عمق مورد نظر پایین آورده می‌شد. در زمان اجرای آزمایش عمق آبشستگی در جلوی دماغه از طریق اشلی که در روی پایه نصب شده بود نسبت به زمان قرائت می‌شد. بعد از اتمام آزمایش و قطع دبی ورودی به فلوم، دریچه انتهایی به آرامی پایین آورده می‌شود تا سطح آب در

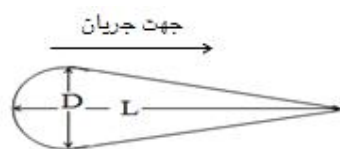
و برای سرعت بحرانی از رابطه زیر (توزیع لگاریتمی سرعت) استفاده نمود:

$$\frac{V_c}{U_{*c}} = 5.75 \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \quad [6]$$

از رابطه‌ی 4 مقدار سرعت برشی بحرانی برابر با 0/017 متر بر ثانیه بدست آمده و با استفاده از معادله 6، سرعت بحرانی برابر با 0/31 متر بر ثانیه محاسبه گردید. مشاهدات آزمایشگاهی در دامنه‌ای از عمق‌ها و سرعت‌های مختلف نشان داد که سرعت جریان آستانه حرکت معادل با 0/25 متر بر ثانیه می‌باشد. بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، این سرعت به عنوان مبنای سرعت بحرانی در نظر گرفته شد.

د- مدت زمان انجام آزمایش

مدت زمان انجام آزمایش برابر با معیار اتما (1980) انتخاب شد، که عبارت است از مدت زمانی که تغییرات در عمق آبشستگی در یک بازه زمانی 4 ساعته کمتر از یک میلی‌متر باشد. در شکل 6 نمودار توسعه زمانی برای پایه شاهد (پایه استوانه‌ای) آورده شده است. با توجه به نمودار شکل 6 مشاهده می‌شود که تغییرات عمق آبشستگی در ابتدا زیاد بوده ولی با گذشت زمان رفته رفته کم می‌شود و به دلیل وقوع بخش عمده آبشستگی در بازه 2 ساعت اولیه آزمایش، این زمان برای کلیه آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به معیارهای فوق و محاسبه سرعت بحرانی، با در نظر گرفتن عمق جریان برابر با 16 سانتی‌متر و دبی 9 لیتر بر ثانیه شرط $V/V_c=0/9$ در آزمایش‌ها برقرار شد. با توجه به محاسبات فوق سرعت متوسط برابر با 0/225 متر بر



شکل 7- شکل هندسی پایه باله‌ای شکل.

سری دوم آزمایش‌ها با پایه‌هایی از جنس پلی اتیلن با شکل‌های هندسی متفاوتی انجام گرفت که این شکل‌های هندسی پایه‌ها برای مقایسه با حالت بهینه پایه باله‌ای شکل بکار گرفته شدند. در جدول 2 مشخصات و شکل‌های هندسی این سری از پایه‌ها آورده شده است.

جدول 1- مشخصات پایه‌های باله‌ای شکل.

مدل	L (cm)	D (cm)	L/D
P ₂₁	۵/۷	۲	۲/۸۵
P ₂₂	۷/۷	۲	۳/۸۵
P ₂₃	۹/۶	۲	۴/۸
P ₂₄	۱۳/۲	۲	۶/۶

جدول 2- مشخصات پایه‌ها با شکل‌های هندسی متفاوت.

مدل	شکل مدل پایه	جهت جریان	L (cm)	D (cm)
پایه استوانه‌ای		→	۲	۲
P _{1,1}		→	۷/۷	۲
P _{1,2}		→	۷/۷	۲
P _{2,1}		→	۷/۷	۲
P _{2,2}		→	۷/۷	۲
P ₃		→	۷/۷	۲
P ₄		→	۷/۷	۲
P ₅		→	۷/۷	۲

عرض لازم را برای طوق، به منظور کاهش آبشستگی دو برابر قطر پایه بیان کردند در این تحقیق هم به منظور بررسی کاهش آبشستگی از طوق‌هایی به اندازه دو برابر قطر پایه استفاده شد.

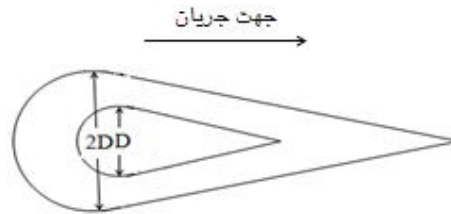
فلوم به آرامی بالا رود و آسیبی به توپوگرافی اطراف پایه وارد نسازد. بعد از زهکشی کامل بستر، از طریق سطح سنجی که در بالای فلوم نصب شده است عمق آبشستگی جلوی پایه و توپوگرافی حفره آبشستگی با دقت 0/1 میلی‌متر برداشت شد.

شرح مدل‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش از دو سری پایه پل استفاده گردید، سری اول شامل پایه‌های باله‌ای شکل با طول‌های نسبی (L/D) متفاوت است که در شکل 7 نمایی از پایه باله‌ای شکل نشان داده شده است که در آن (L) طول پایه در امتداد جریان و (D) برابر با قطر پایه می‌باشد. سری اول آزمایش‌ها روی این پایه‌ها انجام گرفت از جنس فلز انتخاب و با علامت اختصاری P_a معرفی شدند که مشخصات آنها در جدول 1 آورده شده است.

سری سوم آزمایش‌ها نیز روی تمامی پایه‌ها با استفاده از طوقی که از لحاظ شکل هندسی کاملاً منطبق با پایه مورد نظر بود انجام پذیرفت با توجه به نتایج آزمایش‌های ثانی خانی و همکاران (1387)، که حداقل

در شکل 8 یک نمونه از پایه پل باله‌ای به همراه طوق نشان داده شده است.



شکل 8- پایه باله‌ای شکل به همراه طوق.

در شکل 9 نیز تصویری از پایه‌های باله‌ای شکل در شرایط کانال آزمایشگاهی به همراه طوق و بدون طوق، بعد از انجام آزمایش نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل 9- تصویر پایه باله‌ای شکل در کانال آزمایشگاهی بعد از انجام آزمایش الف - حالت بدون طوق، ب- حالت طوق‌دار.

می‌دهند. با ادامه یافتن این فرآیند ارتفاع رسوبات در پشت پایه افزایش یافته و بالاتر از سطح بستر قرار می‌گیرند.

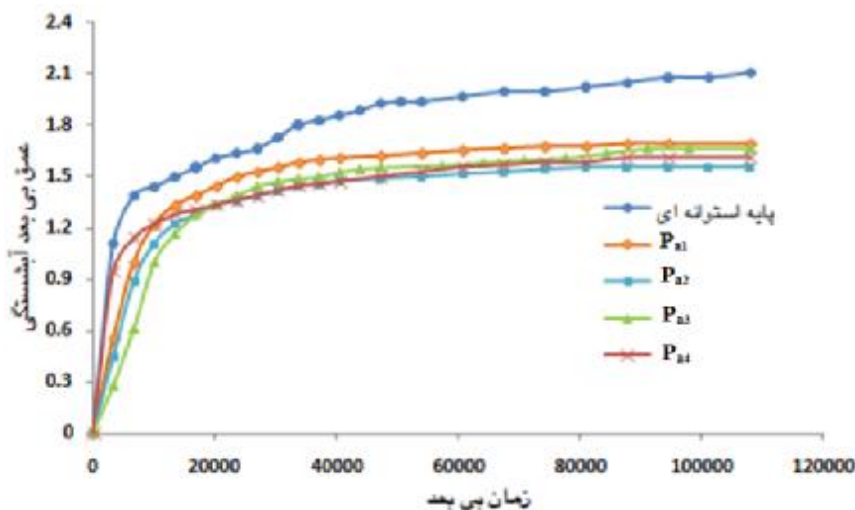
نتایج بررسی‌های انجام شده روی پایه باله‌ای شکل با طول‌های مختلف در شکل 10 نشان داده شده است. بطوریکه شکل 10 نشان می‌دهد در تمام پایه‌ها نرخ افزایش عمق حفره آبستگي در مراحل اولیه آزمایش بسیار زیاد بوده اما حدوداً بعد از 20 دقیقه ($T^*=13500$) کاهش چشمگیری در روند افزایش عمق حفره آبستگي دیده می‌شود. همچنین این شکل نشان می‌دهد که پایه باله‌ای شکل در مقایسه با پایه استوانه‌ای حدوداً 22 درصد حداکثر عمق آبستگي را کاهش می‌دهد لازم به ذکر است که بیشترین میزان کاهش مربوط به پایه باله‌ای با طول $L=7/7$ بوده است. شکل

نتایج و بحث

نتایج مربوط به پایه‌های باله‌ای شکل

با شروع آزمایش جابجایی رسوبات ابتدا از قسمت جلویی پایه اتفاق می‌افتد و سپس آبستگي به طرفین پایه در اثر فعالیت گرداب‌های نعل اسبی کشیده می‌شود. در مدل پایه‌های باله‌ای شکل به علت ساختاری که دارند گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه ایجاد نمی‌شود و در نتیجه در پشت پایه آبستگي رخ نمی‌دهد. با گذشت زمان ناحیه شسته شده در قسمت جلوی پایه توسعه یافته و شکل یک نیم دایره به خود می‌گیرد. رسوبات جابجا شده از جلوی دماغه پایه به طرفین دیواره طولی حرکت کرده و با گذشت زمان در اثر فعالیت گرداب‌های نعل اسبی به پشت پایه منتقل می‌شوند و تشکیل یک تل کوچک در این منطقه را

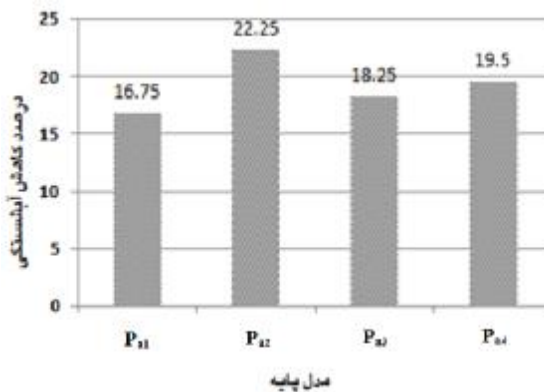
آبشستگی در اطراف پایه متقارن بوده و میزان توسعه آن در دو طرف پایه یکسان است و ابعاد حفره ایجاد شده در پایه باله‌ای با طول 7/7 سانتی‌متر نسبت به بقیه پایه‌ها کمتر است.



شکل 10 - تأثیر طول پایه‌های باله‌ای شکل بر کاهش حداکثر عمق آبشستگی.

نتایج مربوط به پایه‌های با شکل‌های هندسی متفاوت در پایه‌های P_3 , $P_{2,2}$, P_4 , $P_{1,1}$, $P_{1,2}$ با شروع آزمایش آبشستگی ابتدا از گوشه‌های تیز شروع می‌شود ولی در پایه‌های P_5 و $P_{2,1}$ با شروع آزمایش آبشستگی از جلوی پایه شروع می‌شود. در تمامی پایه‌ها با گذشت زمان آبشستگی جلوی دماغه به سرعت توسعه می‌یابد و ذرات کنده شده از جلوی پایه به طرفین دیواره طولی پایه منتقل می‌شوند و تشکیل تل کوچکی در این مکان می‌دهند که با گذشت زمان این تل تشکیل شده به پایین دست پایه منتقل می‌شود و آبشستگی در طرفین پایه نیز رخ می‌دهد. در شکل 12 تأثیر شکل هندسی پایه پل‌ها با پایه استوانه‌ای مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که پایه باله‌ای شکل، نسبت به سایر پایه‌ها اثر بهتری در کاهش آبشستگی از خود نشان می‌دهد و این امر به دلیل این است که پایه باله‌ای اثر گرداب‌های برخاستگی را به شدت کاهش می‌دهد و همین امر موجب کاهش 22 درصدی حداکثر عمق آبشستگی نسبت به پایه

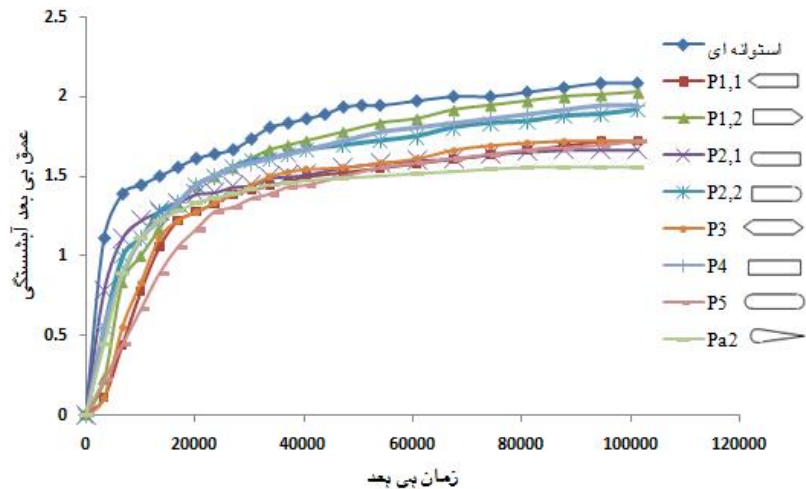
در شکل 11 نمودار ستونی درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌های باله‌ای نسبت به پایه استوانه‌ای آورده شده است. با توجه به نمودار ستونی نیز کاملاً مشخص است که با افزایش طول، در پایه‌های باله‌ای میزان کاهش حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد و پایه با طول نسبی 3/85 بیشترین کاهش را از خود نشان داده است.



شکل 11- نمودار ستونی در صد کاهش حداکثر عمق آبشستگی پایه‌های باله‌ای شکل نسبت به پایه استوانه‌ای.

که هر چه دماغه پایه پل آئرویدینامیکی و تیز باشد در کنترل قدرت گرداب‌های نعل اسبی بهتر عمل می‌کند و این امر باعث کاهش عمق آبشستگی پایه می‌شود. شایان ذکر است که جهت جریان در شکل‌های هندسی مختلف پایه‌های نشان داده شده در شکل 12 از چپ به راست بوده است.

استوانه‌ای شده است. از این شکل روشن است که پایه‌های $P_{1,2}$ ، P_4 و $P_{2,2}$ تأثیر چندانی در کاهش حداکثر عمق آبشستگی از خود نشان ندادند. همچنین استفاده از پایه باله‌ای شکل نسبت به پایه‌های $P_{1,1}$ ، $P_{1,2}$ ، $P_{2,1}$ ، P_3 ، P_4 و P_5 به ترتیب باعث کاهش $6/6$ ، $18/8$ ، $9/6$ ، $20/3$ و 8 درصدی حداکثر عمق آبشستگی در جلوی دماغه پایه می‌شود که این نتیجه نشان می‌دهد

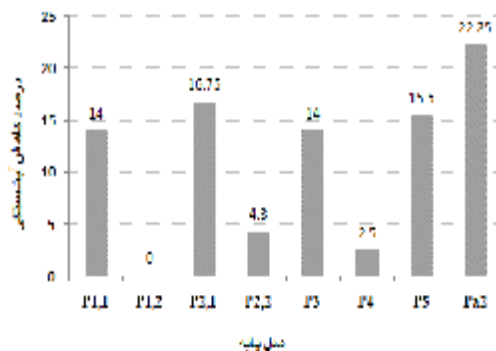


شکل 12- تأثیر شکل هندسی پایه پل بر کاهش حداکثر عمق آبشستگی.

نتایج مربوط به پایه با طوق

بطور کلی در آزمایش‌های انجام شده با طوق مشاهده شد که تکنیک استفاده از طوق باعث کاهش عمق آبشستگی در جلوی دماغه پایه‌ها می‌شود و همچنین وجود طوق زمان شروع آبشستگی را به تأخیر می‌اندازد. در آزمایشات مربوط به طوق، ابتدا آبشستگی در اثر فعالیت گرداب‌های برخاستگی در پشت پایه شروع شد، گرداب‌های برخاستگی شیارهایی را در کناره‌های پایه ایجاد کردند که با توسعه و گسترش این شیارها به جلوی پایه و نفوذ آنها به زیر طوق، آبشستگی تحت تأثیر گرداب‌های نعل اسبی ادامه یافت و موجب حفر گودال آبشستگی در جلوی پایه گردید. در شکل 14 تأثیر طوق در توسعه زمانی آبشستگی و مقایسه آن با حالت پایه شاهد آمده است. همان گونه که

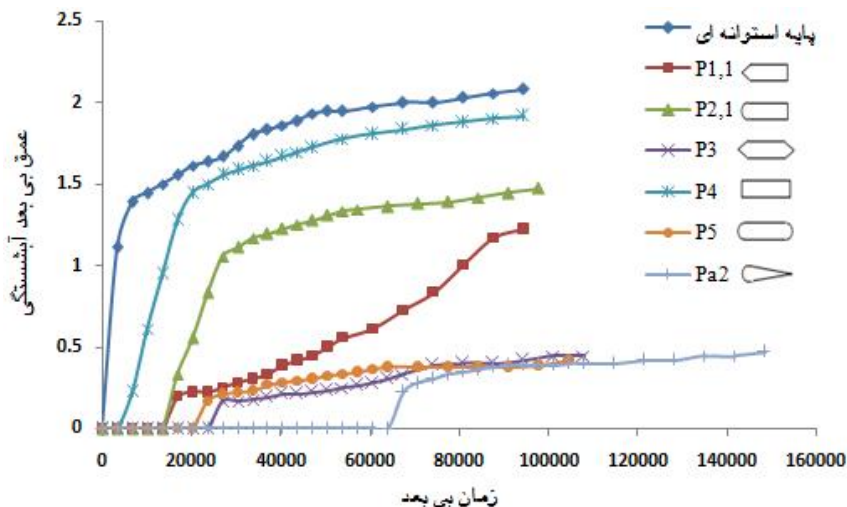
در شکل 13 نمودار ستونی درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌ها با شکل‌های هندسی متفاوت نسبت به پایه استوانه‌ای آورده شده است.



شکل 13- نمودار ستونی درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌ها با شکل‌های هندسی مختلف نسبت به پایه استوانه‌ای.

همان طوری که در شکل 14 نیز مشخص است وجود طوق در پایه P_4 تأثیر کمتری در کاهش ماکزیمم عمق آبشستگی نسبت به سایر شکل‌های هندسی دارد.

در این شکل مشخص است در پایه باله‌ای شکل نسبت به سایر پایه‌ها آبشستگی خیلی دیر شروع شده ($T^*=67500$) و زمان تعادل افزایش بیشتری داشته است ولی در پایه P_3 ماکزیمم عمق آبشستگی کاهش بیشتری از خود نشان داده و تقریباً مثل پایه باله‌ای شکل عمل کرده‌اند.

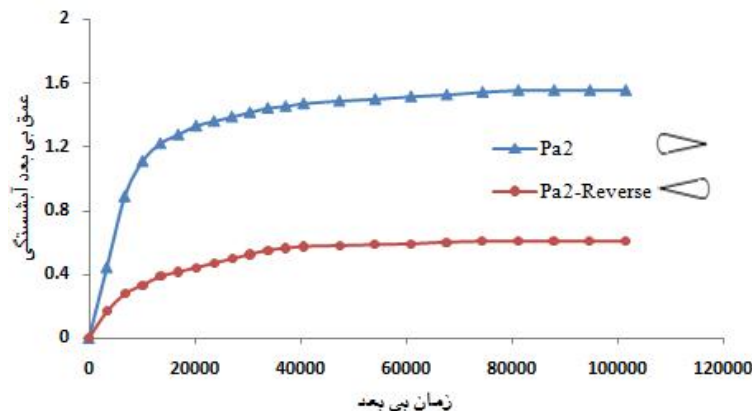


شکل 14 - توسعه زمانی آبشستگی مربوط به پایه‌ها با شکل‌های هندسی متفاوت به همراه طوق.

از این نمودار پیدا است که در پایه باله‌ای شکل که بصورت برعکس در جهت جریان قرار گرفته قدرت گرداب نعل اسبی به شدت تضعیف می‌شود. در نتیجه این امر موجب کاهش بیشتر حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت اصلی آن شده است. همچنین در پایه باله‌ای شکلی که دماغه نوک تیز آن در مقابل جریان قرار گرفته، آبشستگی از پشت پایه بدلیل وجود گرداب‌های برخاستگی شروع می‌شود. این آزمایش نشان می‌دهد که تأثیر گرداب‌های نعل اسبی در ایجاد حفره آبشستگی در مقابل و اطراف پایه‌های پل خیلی بیشتر از گرداب‌های برخاستگی می‌باشد. بدین ترتیب برای کنترل آبشستگی در اطراف پایه‌های پل با هر شکل هندسی، کنترل گرداب‌های نعل اسبی از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود.

نتایج مربوط به پایه باله‌ای شکل برعکس

برای پایه باله‌ای شکلی که بصورت برعکس در جهت جریان قرار گرفته است در شروع آزمایش آبشستگی از جلوی دماغه پایه در اثر فعالیت گرداب موج کمانی شروع می‌شود ولی چون قدرت این گرداب کم می‌باشد در نتیجه حفره آبشستگی در جلوی پایه با سرعت کمتری در مقایسه با حالتی که دماغه گرد آن در جهت جریان قرار گرفته انجام می‌گیرد. برای حالت برعکس پایه باله‌ای شکل تقریباً در فاصله 2 سانتی‌متری از انتهای پایه در اثر فعالیت گرداب‌های برخاستگی، رسوبات قرار گرفته در این مکان، از محل خود کنده شده و به پشت پایه هدایت می‌شوند. در شکل 15 پایه باله‌ای با حالتی که دماغه نوک تیز آن در جهت جریان قرار گرفته، مقایسه شده است.



شکل 15 - توسعه زمانی آبشستگی در پایه باله‌ای شکل بهینه و حالت برعکس آن.

نتیجه گیری کلی

شکل به دلیل حذف اثر گرداب‌های برخاستگی و تضعیف قدرت گرداب‌های نعل اسبی بیشترین اثر را روی کاهش حداکثر عمق آبشستگی از خود نشان داد. آزمایش‌های مربوط به استفاده از طوق نشان داد که عمق آبشستگی در دماغه پایه‌ها، نسبت به حالت بدون طوق کاهش یافت. همچنین توسعه حفره آبشستگی به طرفین پایه نیز کاهش یافت. استفاده از طوق، زمان شروع آبشستگی در جلوی دماغه پایه‌ها را نیز به تأخیر می‌اندازد و استفاده از طوقی با عرضی معادل دو برابر عرض پایه، در مدل پایه باله‌ای نسبت به سایر مدهای فیزیکی اثر بهتری را در کاهش حداکثر عمق آبشستگی در جلوی دماغه از خود نشان داده و زمان شروع آبشستگی در آن را به میزان $T^* = 67500$ به تأخیر انداخته است. همچنین نتایج آزمایش مربوط به پایه باله‌ای شکل که بصورت برعکس در جهت جریان قرار گرفته بود نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در جلوی دماغه به علت کاهش قدرت گرداب‌های نعل اسبی حدوداً 60 درصد نسبت به حالت اولیه آن کاهش می‌یابد. این کاهش نشان می‌دهد، گرداب‌های نعل اسبی در توسعه آبشستگی در اطراف و جلوی دماغه پایه نقش مهمی را ایفا می‌کنند و برای کنترل آبشستگی در اطراف پایه بایستی بر قدرت این گرداب‌ها غلبه نمود.

در مطالعه حاضر تأثیر شکل هندسی پایه پل و نیز تأثیر طوق در کنترل آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌ها در شرایط آبشستگی آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌های مربوط به پایه‌های باله‌ای شکل نشان داد که با افزایش طول پایه‌ها عمق حفره آبشستگی کاهش می‌یابد. این نتیجه با مطالعات اتما و همکاران (1998) که حالت بهینه نسبت طول به عرض را برای پایه‌های مستطیلی برابر 4 بیان کرده‌اند مطابقت می‌کند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که شکل هندسی پایه پل بر میزان آبشستگی اطراف پایه اثر می‌گذارد و هرچه نوک دماغه پایه تیزتر شود اثر بهتری در کاهش حداکثر عمق آبشستگی به علت تضعیف قدرت گرداب‌های نعل اسبی در جلوی دماغه پایه خواهد داشت. یعنی پایه‌های مستطیلی با دماغه مثلثی یک طرفه $(P_{1,1})$ ، که دماغه مثلثی آن در جهت جریان قرار گرفته است و پایه مستطیلی با دماغه مثلثی دو طرفه (P_3) ، اثر بهتری در کاهش حداکثر عمق آبشستگی نسبت به پایه شاهد داشتند و همچنین پایه‌های مستطیلی با دماغه استوانه‌ای $(P_{2,1}, P_3)$ نیز به همان ترتیب اثر گذارتر از پایه استوانه‌ای عمل می‌کنند و در مورد پایه مستطیلی (P_4) می‌توان گفت که در کنترل آبشستگی تقریباً بی‌تأثیر می‌باشد. از میان همه شکل‌های هندسی، پایه باله‌ای

منابع مورد استفاده

- ارونقی ه، فرسادی زاده د، حسین زاده دلیر ع و فاخری فرد ا، 1388. تعیین ابعاد مناسب طوق مستطیلی در کاهش آبشستگی پایه‌ی پل. مجله دانش آب و خاک، جلد 19، شماره 1. صفحه‌های 51 تا 64.
- پوراحمدی م و حکیم زاده ح، 1390. بررسی تجربی آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های مخروطی شکل تحت اثر جریان ماندگار. ششمین کنگره ملی عمران، 6 الی 7 اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان.
- ثانی خانی ه، حسین زاده دلیر ع، فرسادی زاده د، فاخری فرد ا، ناظمی اح و سلماسی ف، 1387. کاربرد طوق‌های مستطیلی و دایره‌ای در کاهش آبشستگی پایه‌های پل. مجله دانش کشاورزی، جلد 18، شماره 4، صفحه‌های 1 تا 16.
- حسینی ح، حسین زاده دلیر ع، فرسادی زاده د، ارونقی ه و قربانی مع، 1390. کاربرد صفحات مستغرق در کنترل آبشستگی اطراف پایه‌های پل مستطیلی با دماغه‌ی گرد. نشریه‌ی مهندسی عمران و نقشه برداری - دانشکده فنی، شماره 3، صفحه‌های 301 تا 310.
- زراتی ا، 1379. نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌ها. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران
- شریعتی ح، خدائشناس س و اسماعیلی ک، 1388. مقایسه عملکرد طوق مربعی و دایره‌ای در کاهش آبشستگی موضع در پایه پل. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، 6 الی 8 بهمن، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- شفاعی بجستان م، 1384. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Breusers NHC and Raudkivi A, 1991. Scouring. 2th Hydraulic Structures Design Manual. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Chiew YM, 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. J Hyd Engrg ASCE 121(9): 635-643
- Ettema R, 1980. Scour at Bridge Piers. Report No. 216., University of Auckland, New Zealand.
- Ettema R, Melville B W and Barkdoll B B, 1998. Scale effect of pier scour experiments. J Hyd Engrg ASCE 124(6): 639-642.
- Karimae M and Zarrati AR, 2011. Effect of collar on time development and extent of scour hole around cylindrical bridge piers. Int J Engrg 25(1): 11-16.
- Kumar V, Rango KG and Vittal N, 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J Hyd Engrg ASCE 125(12): 1302-1305.
- Lee SO and Sturm TW, 2009. Effect of sediment size scaling on physical modeling of bridge pier scour. J Hyd Engrg ASCE 135(10): 793-802.
- Mellvil BW, 1997. Pier and abutment scour. Integrated approach. J Hyd Engrg ASCE 132(2): 125-136.
- Mellvil BW, and Chiew YM, 1999. Time scale for local scour at bridge piers. J Hyd Engrg ASCE 125(1): 59-65.
- Moncada AT, Aguirre PEJ, Bolivar JC and Flores EJ, 2009. Scour protection of circular bridge piers with collar and slots. J Hyd Res 47(1): 119-126.
- Raudkivi AJ and Ettema R, 1983. Clear water scour at cylindrical piers. J Hyd Engrg ASCE 103(10) : 1209-1213.
- Raudkivi AJ, 1990. Loose Boundary Hydraulics. 3rd Edition, Pergamon press.
- Sanoussi AA and Habib EA, 2008. Local scour at rounded and sloped face with skew angles. Pp.439-462. International Conference Construction and Building Tecnology, 16 until 20 June 2008
- Zarrati AR, Gholami H and Mashahir MB, 2004. Appllication of collar to control scouring rectangular bridge piers. J Hyd Res 42(1): 97-103.